

УДК 621.397

## МЕТОД ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ШИРОКИМ ДИАПАЗОНОМ ЯРКОСТЕЙ

*Бочаров К.Ю., Научно-исследовательский институт системных исследований РАН, mpostboxx@yandex.ru*  
*Демидов В.М., к.т.н., ОАО «ЦНИИ «Циклон», demidovvova@yandex.ru*

**Ключевые слова:** тепловизионное изображение, гистограмма, распределение уровней, яркость, контрастность, функция отображения.

**Алгоритмы распределения уровней**

Распределение уровней выполняется в несколько этапов: сбор статистических данных (гистограммы), построение функции отображения путем анализа собранных статистических данных, применение функции отображения к изображению.

Функция отображения представляется в виде таблицы преобразования входного сигнала в выходной. При автоматической регулировке функции отображения используется алгоритм автоматического регулирования уровней (АРУ).

**Линейный метод**

Самым простым методом построения функции отображения является линейный метод [1, 2]. На основании распределения уровней сигнала определяется отображаемый интервал. Обозначим крайние точки интервала  $S_a$  и  $S_b$ , нижнюю и верхнюю границы получаемых оттенков  $C_a$  и  $C_b$ , соответственно. Для восьмиразрядного выходного изображения можно принять  $C_a = 0$ ,  $C_b = 255$ . Функция отображения сигнала  $S$  в оттенок  $C$  имеет вид:

$$C(S) = \begin{cases} C_a & , \text{при } S \leq S_a \\ K_l S + B & , \text{при } S_a < S < S_b \\ C_b & , \text{при } S_b \leq S \end{cases} \quad (1)$$

где  $K_l = \frac{C_b - C_a}{S_b - S_a}$ ,  $B = C_a - S_a K_l$ .

Наиболее сложной задачей при использовании линейного метода является выбор границ отображаемого интервала – оттенков  $S_a$  и  $S_b$ . Как правило, строится гистограмма распределения входного сигнала, и границы выбираются с отсечением определенного числа крайних пикселей (самых ярких и самых темных). Отсечение крайних значений необходимо для исключения влияния выбросов (дефектных пикселей) на выходное изображение.

Если бы не надо было считать количество отсекаемых пикселей, то можно было бы и не строить гистограммы, а определять минимальное и максимальное значение входного сигнала. Задачу сбора гистограммы при необходимости можно оптимизировать по используемой памяти, поскольку для работы алгоритма не требуется вся гистограмма, а нужно лишь определенное число крайних значений.

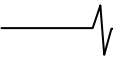
*Рассматриваются методы преобразования изображения для согласования его уровней сигнала и палитры устройства отображения. Предлагается новый, усовершенствованный алгоритм автоматического регулирования уровней.*

Сужение границ применяется и для уменьшения числа оттенков, выделяемых на объекты, которые предположительно нас не интересуют (очень яркие и очень темные либо напротив, недостаточно яркие или темные, как правило – фон). Например, при наблюдении горячих объектов целесообразно число отсекаемых ярких пикселей сделать как можно меньшим (достаточным для корректной работы), а число отсекаемых темных всего в несколько раз меньше площади фона. Для наблюдения общей картины сцены имеет смысл производить отсечение очень горячих и холодных объектов. Сами эти объекты будут видны как соответственно яркие или темные области, но средние температуры будут отображены более подробно.

Управление граничными значениями отображаемого диапазона может использоваться для регулирования параметров изображения. Так, при наблюдении ярких объектов целесообразно уменьшить число отсекаемых ярких пикселей и увеличить число отсекаемых темных, то есть сместить обе границы в направлении увеличения. Таким способом регулируется яркость изображения (выше уровни границ – ниже яркость и наоборот). Для повышения или понижения контрастности изображения границы можно сближать и раздвигать. Такая регулировка может проводиться автоматически, без необходимости в ручной коррекции. Для исключения мерцания изображения в случае быстро меняющейся сцены при использовании автоматического определения границ вводится накопление границ во времени.

Применение алгоритма поиска границ интервала для каждого кадра в отдельности в некоторых случаях дает нежелательный эффект. Последовательность изображений быстро меняющейся сцены может значительно отличаться по яркости и контрасту. Это приводит к мерцанию изображения и может значительно затруднить работу оператора. Для устранения этого явления вводится накопление по времени границ интервала. Алгоритм и параметры накопления зависят от характера наблюдаемых сцен и решаемых задач.

Линейный метод достаточно прост и часто дает приемлемый результат. Его основной недостаток заключается в том, что во всем отображаемом интервале оттенки распределены равномерно. Наблюдается эффект «засветки»: при контрастном по отношению к фону объекте детали на выходном изображении становятся неразличимыми.



Модернизацией линейного метода является кусочно-линейный метод, при котором увеличивают число исследуемых интервалов. При его использовании возникают вопросы: как определить число интервалов; если взять несколько интервалов, то в каком соотношении распределить оттенки по интервалам. Эти вопросы делают реализацию кусочно-линейного метода либо зависимой от очень большого числа настраиваемых параметров, либо применимой для наблюдения исключительно определенной по характеру сцены. Сложная логика выбора границ и наличие резкого перехода от одного интервала к другому повышают вероятность «неустойчивой» работы алгоритма. Под «неустойчивой» работой здесь понимается резкое изменение палитры между кадрами, что проявляется в виде «вспышки» – резкого изменения яркости изображения, либо «подмаргивания» – небольшого, но периодического изменения яркости изображения некоторого объекта. Надо отметить, что подобные эффекты могут проявляться не только при заметном изменении сцены, но и при ее относительном постоянстве (при незначительных ее изменениях или даже при влиянии шума). В связи с этим достаточно гибкий и надежный кусочно-линейный метод трудно реализовать на практике.

#### Гистограммный метод

Другой метод преобразования изображения – гистограммный, связанный с так называемым выравниванием гистограммы (histogram equalization) [1-3]. Метод сводится к вычислению функции отображения непосредственно по значениям гистограммы входного сигнала.

Функция отображения в интервале [0; 1] вычисляется в соответствии с выражением:

$$F_i = \frac{\sum_{j=0}^i H_j}{\sum_{j=0}^{n-1} H_j}, \quad (2)$$

где  $F$  – таблица отображения (палитра);  $H$  – гистограмма входного изображения;  $i$  – рассматриваемая градация;  $j$  – индекс градации в гистограмме;  $n$  – размер гистограммы.

В простейшем случае, если расчет гистограммы проводился без каких-либо предварительных операций над входным видеосигналом, сумма в знаменателе равна числу пикселей в изображении.

Суммирование в числителе рационально проводить итерационно, последовательно определяя каждый элемент палитры. Используя вышесказанное и перейдя от интервала получаемых оттенков [0; 1] к заданному интервалу, определенному границами  $C_a$  и  $C_b$ , представим выражение (2) в следующем виде:

$$F_i = K_g \cdot Hs_i + C_a, \quad (3)$$

где 
$$K_g = \frac{C_b - C_a}{\sum_{j=0}^{n-1} H_j},$$

$$Hs_0 = H_0, \quad Hs_i = Hs_{i-1} + H_i, \quad i = 1 \dots n-1.$$

Заметим, что если в линейном методе можно было и не хранить палитру, вычисляя оттенок непосредственно для каждого пиксела, то здесь значительно рациональнее вычислять палитру сразу целиком, за один проход.

Гистограммный метод хорошо работает для изображения, где присутствует большое число объектов с разнообразной яркостью. Всем оттенкам на полученном изображении соответствует примерно одинаковое число пикселей. Следовательно, на изображении отображается большинство мелких деталей. С другой стороны, на большие однотонные объекты выделяется большое число оттенков. Как результат, резко проявляется шум.

Еще один недостаток проявляется в отсутствии резкой границы между двумя объектами с различным уровнем сигнала. Это связано с отсутствием выделения промежуточных оттенков, лежащих между яркостями этих двух объектов.

#### Модернизированный гистограммный метод

Предлагается достаточно простой метод обработки изображений с широким диапазоном яркостей, базирующийся на рассмотренных методах, но позволяющий в значительной мере преодолеть основные недостатки каждого из них.

Сначала рассмотрим вопрос о том, как уменьшить влияние шума и снизить влияние больших однотонных зон, а затем – как обеспечить контраст между двумя объектами с различной яркостью. Для решения этих задач в гистограммный метод добавляется алгоритм преобразования гистограммы входного сигнала перед ее применением для построения функции отображения.

Гистограммный метод выделяет тем больший перепад в оттенках, чем большую часть изображения занимает сигнал:

$$F_i - F_{i-1} = K_g \cdot (Hs_i - Hs_{i-1}) = K_g \cdot H_i. \quad (4)$$

Большие значения величин в гистограмме, т.е. большое число пикселей с одинаковым оттенком, приводит к выделению неиспользуемых промежуточных оттенков и к чрезмерному повышению контрастности (повышение уровня шума). Для устранения этого эффекта значения  $H_i$  гистограммы входного сигнала, превышающие определенный уровень, ограничиваются сверху значением  $H_{max}$ :

$$H'_i = \begin{cases} H_i & , \text{при } H_i < H_{max} \\ H_{max} & , \text{при } H_i \geq H_{max} \end{cases}$$

Как показали эксперименты, задавать вручную максимальный уровень  $H_{max}$  нельзя, поскольку его выбор сильно зависит от контрастности входного изображения. Исходя из того, что отсекаются большие значения гистограммы позволяет уменьшить влияние шума, а уровень шума на входном изображении можно принять постоянным, вводится ограничение на значение перепада оттенков:

$$F_i - F_{i-1} \leq \Delta C,$$

где  $\Delta C$  – эмпирическая величина, при которой шум имеет приемлемые значения. Поиск  $H_{max}$  выполняется исходя из этого условия.

Поскольку коэффициент  $K_g$  в (4) зависит от гистограммы, уменьшение значений гистограммы влечет к увеличению  $K_g$ . Для выбора уровня  $H_{max}$  можно использовать следующее ограничение:

$$\frac{C_b - C_a}{\sum_{j=0}^{n-1} H'_j} \cdot H_{max} \leq \Delta C \quad (5)$$

Введем обозначение  $\Omega_{H_{\max}} = \sum_{j=0}^{n-1} H_j'$ .

Тогда для исключения деления неравенство (5) можно представить в виде:

$$(C_b - C_a) \cdot H_{\max} \leq \Delta C \cdot \Omega_{H_{\max}}. \quad (6)$$

Поскольку величина  $\Omega_{H_{\max}}$  постоянно меняет свое значение, зависимость между предыдущим и последующим ее значениями при уменьшении  $H_{\max}$  на единицу можно представить в следующем виде:

$$\Omega_{h-1} = \Omega_h - G_h,$$

где  $G_h$  – количество столбцов гистограммы, равных по высоте  $h$ .

Напомним, что при анализе  $\Omega_h$  имеем дело с гистограммой с ограниченными значениями, то есть столбцов выше  $h$  нет. Следовательно, можно рассчитать гистограмму  $G$  на основании гистограммы  $H$ .

При уменьшении значения  $H_{\max}$  на единицу производится перерасчет  $G_h := G_h + G_{h+1}$ , а затем  $G_{h+1} := 0$ . В программе обнуление можно не производить, а суммирование осуществлять, добавляя  $G_{h+1}$  к некоторой переменной, исполняющей роль текущего элемента, без изменения значений самой гистограммы  $G$ . Последовательное уменьшение  $H_{\max}$  происходит от максимального значения гистограммы, пока не будет выполняться условие (6). При выполнении этого условия текущее значение  $G_h$  равно искомому  $H_{\max}$ .

Для обеспечения контраста между объектами различной яркости надо поднять уровень гистограммы между зонами с большими ее значениями. Проведение корректного анализа зон с малым значением гистограммы и выделение на них соответствующих оттенков является достаточно сложной задачей. Наиболее простым решением является добавление ко всей гистограмме на определенном интервале интенсивности  $[S_a, S_b]$

константы  $P = \frac{L}{S_b - S_a}$ , где  $L$  – эмпирически выбранная величина.

Соотношение между  $L$  и  $\Omega_{H_{\max}}$  показывает, насколько велик вклад линейной составляющей в функции отображения по отношению к гистограммной

составляющей. Иными словами, параметр  $L$  регулирует пропорцию применения гистограммного и линейного метода. При более детальном анализе становится видно, что параметры  $\Delta C$  и  $L$  задают ограничения наклона функции отображения (контраста) сверху и снизу.

### Реализация

При использовании модернизированного гистограммного алгоритма для регулирования доступны несколько параметров. Настройка двух из них –  $\Delta C$  и  $L$  связана с субъективным восприятием изображения наблюдателем. Поэтому важно обеспечить возможность изменять эти параметры непосредственно в процессе работы с прибором.

При реализации устройства для ручной регулировки был выбран параметр  $\Delta C$ , ограничивающий число оттенков на гистограмме. Его увеличение приводит к возрастанию количества оттенков, выделяемых на элементы изображения наибольшей площади. Вместе с тем, повышается уровень шума на таких элементах. Подобный режим удобен для сцен, в которых есть крупные яркие объекты на относительно равномерном фоне. В этом случае сохраняется детализация и объекта, и фона, но становятся более заметными шумы. Уменьшение параметра  $\Delta C$  приводит к выравниванию гистограммы, как следствие – к более равномерному распределению оттенков. Функция отображения приближается к соответствующей функции линейного метода, со всеми его плюсами и минусами.

Альтернативой является регулирование параметра  $L$ . Его увеличение приведет к повышению общей контрастности и выделению мелких деталей на переходных участках изображения.

В ходе проведенных экспериментов модифицированный гистограммный метод показал хорошие результаты для большинства наблюдавшихся реальных сцен. По визуальным оценкам качества выходного изображения в большинстве случаев он превосходит гистограммный алгоритм и имеет значительное преимущество перед линейным методом. Примеры изображений, преобразованных с использованием рассмотренных алгоритмов, приведены на рис. 1.

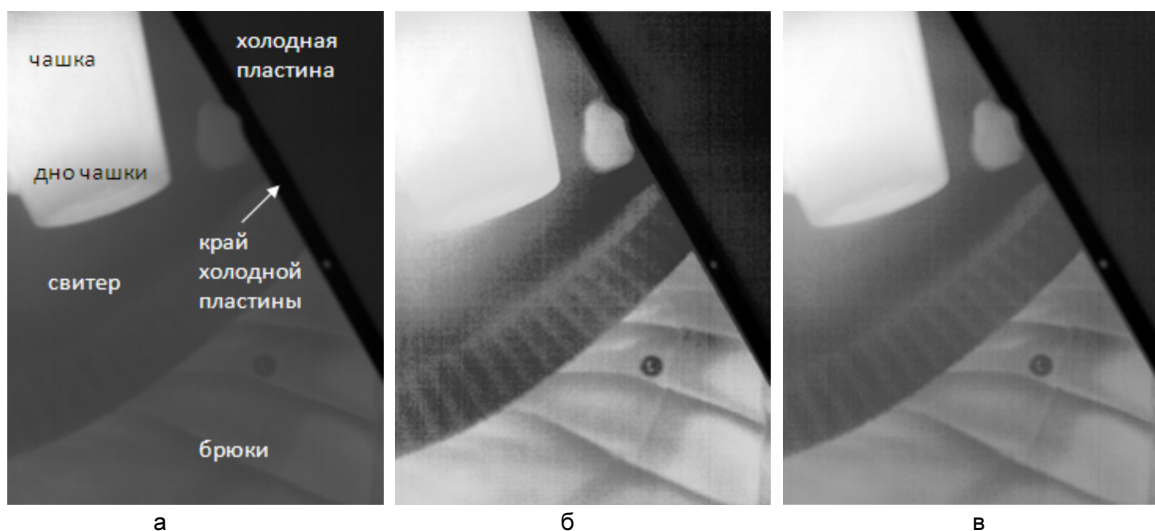


Рис. 1. Примеры визуализации тепловизионных изображений, полученных с использованием линейного метода (а), гистограммного метода (б) и модифицированного гистограммного метода (в).

---

## Заключение

Таким образом, модифицированный гистограммный метод достаточно прост в реализации и не требует значительных вычислительных ресурсов, что позволяет реализовать его в современных системах цифровой обработки видеоизображения в режиме реального времени. Регулирование параметров преобразования позволяет использовать алгоритм в различных условиях, оптимизируя функцию преобразования для той или иной сцены. Предложенный алгоритм позволяет получить изображение для восприятия человеком лучше или, по крайней мере, не хуже, чем при использовании линейного или гистограммного методов обработки изображений.

## Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005.
2. Методы компьютерной обработки изображений / Под. ред. В.А. Сойфера. 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
3. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006.

## VISUALIZATION TECHNIQUE FOR WIDE INTENSITY RANGE IMAGES

*Bocharov Konstantin, Demidov Vladimir*

In this paper image processing methods for matching levels of input signal to display device palette are considered. New efficient algorithm for automatic level adjustment is proposed.

## Новости Университетской программы Texas Instruments

Фирма Texas Instruments Inc. (TI) продолжает вести активную поддержку российских вузов в рамках Университетской программы. Руководители программы хотят обратить внимание всех заинтересованных лиц – преподавателей, научных работников и ученых, аспирантов и студентов – на следующие наиболее интересные события, касающиеся развития Университетской программы, произошедшие в 2009 году.

Одним из важнейших пунктов в развитии программы следует считать открытие раздела русскоязычного сайта фирмы TI, посвященного Университетской программе (<http://www.ti.com/ww/ru/universities.htm>) с возможностью регистрации на русском языке. Это событие произошло еще в конце 2008 – начале 2009 года. В 2009 году открылся еще один раздел этого сайта – организована страница форумов по различным тематикам, касающимся продуктов TI, в том числе форум по Университетской программе на русском языке (<http://e2e.ti.com/ru/forums/default.aspx>). Ответственные за программу специалисты TI, разработчики и работники образования готовы к диалогу в on-line-режиме.

Подготовлены обучающие материалы по сигнальным контроллерам F28335 семейства “Delfino”, пока только на английском языке. Эти материалы являются переработкой обучающего компакт-диска (Teaching ROM) по контроллеру F2812 и в настоящий момент проходят тестирование. Желающие принять участие в тестировании данных материалов могут отправить свою полную контактную информацию (на английском языке) на электронный адрес: [j-hodgkiss@ti.com](mailto:j-hodgkiss@ti.com).

Руководители Университетской программы предлагают обратить внимание на следующие новые аппаратные средства фирмы TI, которые могут оказаться полезными в развитии учебных и исследовательских лабораторий высших учебных заведений. Это, во-первых, полноценное отладочное средство для сигнального процессора TMS320C5505 стоимостью всего \$49 (<http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/tmdx5505ezdsp.html>). Отладочный модуль TMS320VC5505 eZdsp выполнен в формате USB-брелка. В комплект входят полноценный эмулятор и отладочная среда CCStudio V.4. Низкая стоимость делает доступным профессиональный инструмент разработки устройств на базе DSP исследователям, студентам и просто увлеченным людям. Комплект ориентирован на разработку портативных устройств, таких как: аудиоплееры, диктофоны, IP-телефоны, портативные медицинские приборы и другие.

Второе отладочное средство – это набор разработчика на базе новых энергоэффективных сигнальных процессоров OMAP-L138 и TMS320C6748, C6746, C6742 (<http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/tmdxl138logicexp.html>). Стоимость комплекта – \$149. Осуществляется поддержка открытым сообществом. Комплект построен на базе процессора OMAP-L138, имеет 64 МВ памяти mDDR, комплектуется операционной системой Linux, драйверами DSP/BIOS™ и может быть использован в разработках устройств на любом из четырех вышеуказанных процессоров, ориентированных на промышленное и коммуникационное оборудование.

В заключение кратко расскажем о новых DSP-лабораториях, открытых в российских вузах и странах СНГ при поддержке Университетской программы TI в 2009 году. В Чувашском государственном университете открыта новая учебная лаборатория. Базовым оборудованием фирмы TI здесь являются отладочные комплекты C28027USB “Piccolo Sticks”. Они используются для обучения основам DSP и индивидуальной работы студентов. В Самарском государственном университете развернута лаборатория на базе микроконтроллеров MSP430 и малопотребляющих радиочастотных устройств. Таганрогский технологический институт «Южного федерального университета» открыл новую лабораторию на базе микроконтроллеров MSP430. Черниговский государственный технологический университет (Украина) развернул учебную лабораторию на базе стартовых наборов разработчика на процессорах C64x и C67x.

Пожелаем успехов российским преподавателям и научным работникам в разработке учебных программ и курсов, позволяющих передавать студентам знания и навыки работы на современном техническом и научном уровне!